EIEI ACOFI 2023
INGENIERÍA PARA TRANSFORMAR TERRITORIOS
SEPTIEMBRE 19 al 22 2023
CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA
Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI

Aportes de la Ingeniería para la caracterización en salud ambiental. Caso de Estudio en el eje cafetero colombiano

Olga Lucía Ocampo, Paula Tatiana González Pérez

Universidad Autónoma de Manizales
Manizales, Colombia

Resumen

Múltiples y complejas interrelaciones contribuyen a la calidad de la salud incluyendo determinantes ambientales, políticos, económicos, sociales y culturales. En salud humana, los determinantes ambientales son fundamentales porque determinan el status de salud en las poblaciones. Para mejorar la salud, acciones estructurales e integrales deben enfocarse en los factores determinantes que generan los riesgos ambientales. Por tanto, para comprender las relaciones y sus influencias en la salud humana, es necesario analizar situaciones a nivel municipal, subregional y departamental. Identificar las condiciones ambientales del territorio permite comprender factores de riesgo en el contexto de la salud ambiental y establecer intervenciones focalizadas. A través del análisis de fuentes secundarias se realizó una investigación ecológica en cinco departamentos de la región Central de Colombia, con el fin de caracterizar el estado de salud ambiental mediante indicadores a escala municipal. El modelo de fuerzas motrices que identifica una relación causal entre la salud y el medio ambiente fue empleado. En el sector salud, el MFM permite establecer una intervención transversal para cada una de las seis categorías o niveles que lo componen: 1. Fuerza motriz, 2. Presión, 3. Estado, 4. Exposición, 5. Efecto y, 6. Acción. Los componentes calidad de agua, aire, saneamiento básico y seguridad química fueron caracterizados basados en contaminantes criterio e indicadores establecidos por la reglamentación colombiana, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las agencias internacionales reconocidas como Enviromental Protection Agency (EPA). El análisis integrado con herramientas de ingeniería apoyadas en sistemas de información geográfica y analítica de datos contribuye con la priorización de acciones e intervenciones para la toma de decisiones en salud ambiental, con base en la evidencia disponible.

Palabras clave: fuerzas motrices; medio ambiente; salud ambiental

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.3165

Abstract

Multiple and complex interactions contribute to the quality of health, including environmental, political, economic, social, and cultural determinants. In human health, environmental determinants are fundamental, because they determine the health status of populations. To improve health, structural and comprehensive actions must also focus on determining factors that generate environmental risks. Therefore, to understand the relationships and their influence on human health, it is necessary to analyze situations at the municipal, subregional, and departmental levels. Identifying the environmental conditions of the territory allows the comprehension of risk factors in the context of environmental health and establishing targeted interventions. Through the analysis of secondary sources, an ecological investigation was conducted in five departments of the Central region of Colombia to characterize the state of environmental health, through indicators at the municipal level. The Driving Forces Model that identifies a causal relationship between health and the environment was used. In the health sector, the MFM allows cross-cutting intervention to be established for each of the six categories or levels that comprise it: 1. Driving force, 2. Pressure, 3. State, 4. Exposure, 5. Effect and, 6. Action. The components of Water quality, air, sanitation and chemical safety were characterized based on criteria contaminants and indicators established by Colombian regulations, the World Health Organization (WHO), and recognized international agencies, such as the Environmental Protection Agency (EPA).). The integrated analysis with engineering tools supported by geographic information systems and data analytics contributes to the prioritization of actions and interventions for decision-making in environmental health, based on available evidence.

Keywords*: driving forces; environment; environmental health*

1. Introducción

Salud ambiental fue definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como "aquellos aspectos de la salud y enfermedad humanas que son determinados por factores ambientales". (Ordoñez, 2000). Otras definiciones plantean procesos más holísticos con el enfoque de una Sola Salud así: "La salud ambiental es la ciencia que se ocupa de las interrelaciones interactivas positivas y negativas del hombre con el medio ambiente donde se habita y trabaja, incluyendo los otros seres vivos como animales y plantas, los cambios naturales o artificiales que ese lugar manifiesta y la contaminación producida por el mismo hombre en el ambiente y que puedan afectar a la salud humana, así como su estrecha relación con el desarrollo sostenible." (Regifo, 2008, p. 405).

En Colombia, la política pública reconoce el carácter interdisciplinario, multicausal, pluri conceptual y dinámico de la Salud Ambiental y la define como "la interacción y los efectos que, para la salud humana, representa el medio en el que habitan las personas" (Departamento Nacional de Planeación, 2008). Desde este marco, el Plan Decenal de Salud Pública 2022-2031 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022) incluye dentro de sus cuatro grandes fines la mejora de la salud ambiental, mediante la acción intersectorial para la protección de los ecosistemas y el fomento de territorios y entornos saludables.

Desde esta perspectiva se hace necesario comprender el estado de la salud ambiental de los territorios, así como los determinantes ambientales de la salud, que es una dimensión de los determinantes sociales (Organización Panamericana de la Salud, 2014).

Diferentes modelos se han empleado para la comprensión de estos determinantes ambientales que se han orientado a intervenciones en salud ambiental, vigilancia y seguimiento, evaluaciones y construcción de indicadores, entre los que se destacan: el Modelo de Fuerzas Motrices-Presión-Estado-Impactos-Respuesta (Driving Forces-PressuresState-Impacts-Responses -DPSIR) (Hodgson & Campbell, 1999); el Modelo Integrado para la Salud Ambiental IMEH -Integrative Model for Environmental Health- (Dixon & Dixon, 2002); Múltiple exposiciones- Múltiples efectos MEME-Múltiple Exposures Múltiple Effects- (Briggs, 2003); el modelo de evaluación integral en Salud Ambiental IEHIA- Integrated Environmental Health Impact Assessment- (Knol, Briggs & Lebret, 2010).

En Colombia, el Modelo de Fuerzas Motrices (MFM) Presión-Estado-Exposición-Efecto-Acción fue promovido para el abordaje de los problemas de salud ambiental por ser uno de los modelos de mayor alcance que recomienda la OMS y la OPS (Corvalán et al., 1999) y es referente en los Planes Decenales de Salud Pública (PDSP) en Colombia (Minsalud y OPS, 2014).

En el Modelo, las Fuerzas Motrices son las condiciones de carácter estructural que afectan las condiciones ambientales en el territorio; la presión, antrópica o natural, produce cambios en las condiciones originales del ambiente que afectan su estado, el cual se define por la calidad del ambiente que a su vez influye en los territorios y en sus poblaciones; la exposición por vía respiratoria, hídrica, alimentaria o cutánea se refiere al modo como entra en contacto el riesgo ambiental con el ser humano, considera, además, la frecuencia e intensidad del contacto; el efecto comprende las consecuencias en la salud de la población en términos de morbilidad, mortalidad, discapacidad o letalidad; mientras que la acción abarca las intervenciones sobre todas las categorías o niveles del modelo y sus interacciones (Minsalud & OPS, 2014).

En el MFM, los determinantes son de orden estructural, intermedio y proximal. Los determinantes estructurales incluyen los factores de nivel superior que afectan el ambiente y están relacionados con asuntos macroeconómicos, políticos y sociales que definen el modelo de desarrollo. Los determinantes intermedios comprenden factores de nivel medio o meso que causan exposiciones diferenciales, tales como el ordenamiento territorial. Los determinantes proximales son factores que causan exposiciones más directas a las personas (Minsalud & OPS, 2014).

Este estudio destaca los aportes de la ingeniería para la caracterización en salud ambiental en los departamentos: Caldas, Quindío, Risaralda, Huila y Tolima, que comprende el Eje Cafetero Colombiano, actual. Hace parte de los resultados del proyecto Salud Ambiental en 5 departamentos de la región Central de Colombia, financiado por la Convocatoria Colciencias 777-2017 Modalidad I.

2. Metodología

Este estudio es producto de una investigación de tipo ecológico con enfoque cuantitativo con alcance exploratorio porque considera las diferencias geográficas de un evento o variable en varios departamentos y municipios. Se realizaron análisis estadísticos descriptivos e inferenciales que llevan a la búsqueda de patrones; por los efectos de la espacialización de la información, el estudio tiene componentes de epidemiología espacial, pues incorpora la georreferenciación de los lugares de obtención de datos (Blanco et al. 2015).

Dadas las limitaciones de los estudios ecológicos (Ortega & Ochoa, 2015; Blanco et al., 2015), se tomó como unidad de análisis la menor escala disponible a nivel territorial, en este caso el municipio. La población de referencia estuvo constituida por el total de los 137 municipios de los departamentos de Caldas (27), Huila (37), Quindío (12), Risaralda (14), Tolima (47), para el período 2010-2016.

Los lineamientos del MFM y las categorías de indicadores agrupados como: Fuerza Motriz, Presión, Estado, Exposición, Efecto y Acción fueron adoptados para este estudio. La figura 1 resume los indicadores analizados, según la información disponible en fuentes secundarias.

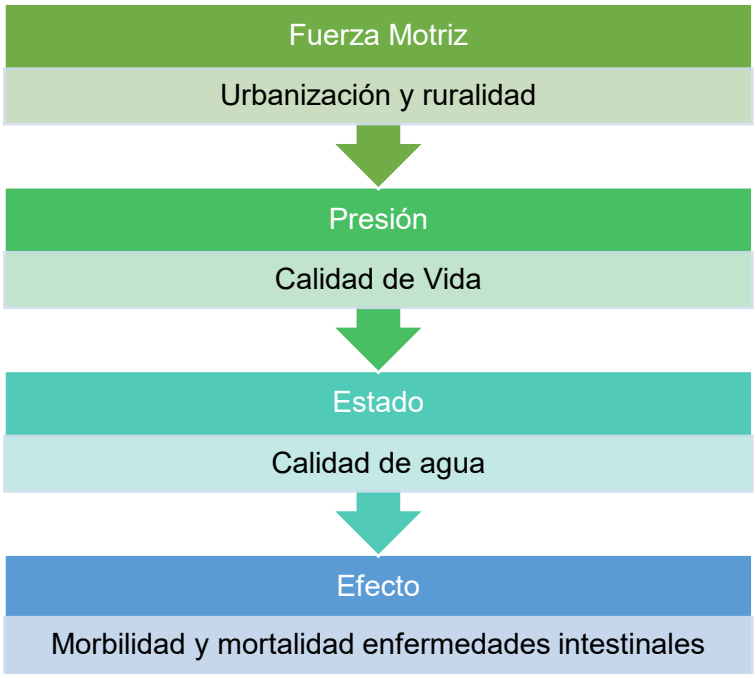

Figura 1. Indicadores analizados según el Modelo de Fuerzas Motrices

Las principales fuentes de información secundaria fueron: Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), Terridata del Departamento Nacional de planeación, Corporación Autónomas Regionales (CAR), Superintendencia de servicios públicos, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC); Agencia Nacional Minera, Agronet; Subsistema de Vigilancia de Calidad de Agua Potable (SIVICAP); Estudios Nacionales del Agua (IDEAM) y Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.

La caracterización ambiental del agua, el aire, el saneamiento y la seguridad química se realizó con base en contaminantes criterio e indicadores establecidos por la reglamentación colombiana, la OMS y las agencias internacionales reconocidas como (EPA). En calidad de aire se incluyó la información de gases de efecto invernadero de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (IDEAM et al., 2016) y los contaminantes criterios de calidad de aire reportados por las CAR.

A partir de la información secundaria se estimaron los indicadores establecidos. Se realizó un análisis de estadística descriptiva, mediante Microsoft Excel y SSPS. Por otra parte, fueron empleados los Sistemas de Información Geográfica SIG, específicamente el Software ArcGis, para la representación de la información en mapas temáticos.

Las principales herramientas de ingeniería empleadas para la caracterización fueron las de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que comprenden un conjunto de componentes que permite integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio.

3. Resultados

Los resultados completos de la aplicación del Modelo de Fuerzas Motrices pueden ser visualizados en Ocampo et al. (2021), mientras que el estudio analítico producto de la investigación de salud ambiental en Cardona et al. (2021). Algunos resultados de los indicadores se ilustran a continuación:

Urbanización y ruralidad

Las categorías de ruralidad tomando los insumos de la misión rural (DNP, 2014) clasifican los municipios como rural disperso, rural, intermedios, y ciudades y aglomeraciones. La Figura 2 presenta los indicadores de ruralidad para la zona de estudio.

Índice de pobreza multidimensional

Diferentes indicadores se han empleado para el análisis de calidad de vida. El análisis de pobreza multidimensional, calculada con el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) se ilustra en la Figura 3. Este índice mide los hogares con privaciones en 5 dimensiones básicas de bienestar: 1) condiciones educativas del hogar, 2) condiciones de la niñez y juventud, 3) trabajo, 4) salud, y 5) servicios públicos domiciliarios y vivienda. Los municipios con Pobreza Multidimensional Municipal según CNPV (2018), por encima del percentil 75 para la región que corresponde a 42,1, fueron: En Huila: Acevedo, Agrado, Algeciras, Baraya, Colombia, Guadalupe, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Nátaga, Oporapa, Palestina, Pital, Saladoblanco, Santa María, Tarqui, Tello; en Risaralda: Mistrató y Pueblo Rico; en Tolima: Anzoátegui, Ataco, Casabianca, Coyaima, Herveo, Murillo, Ortega, Palocabildo, Planadas, Rioblanco, Rovira, San Antonio, Santa Isabel, Villahermosa.

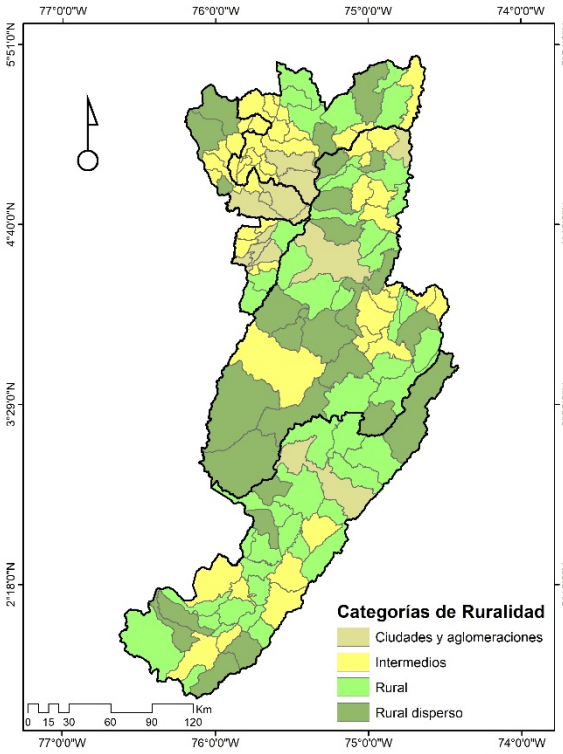

Figura 3. Indicadores de ruralidad
Fuente: Ocampo et al (2021)

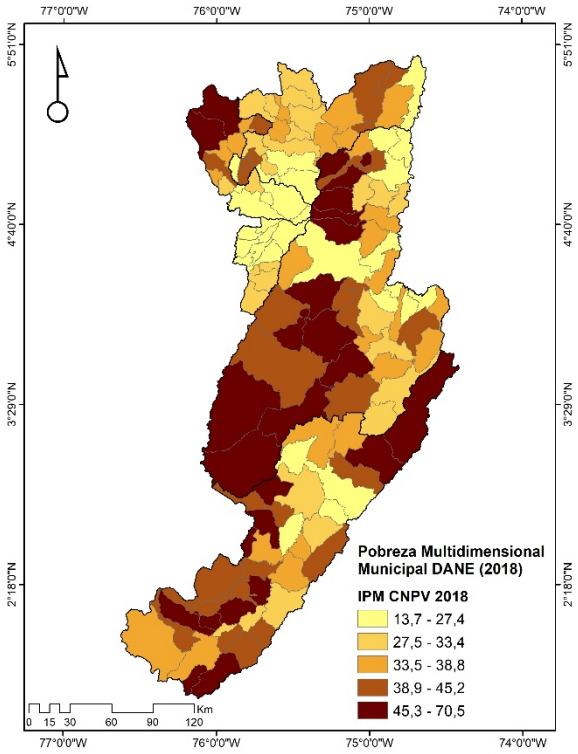

Figura 3. Índice de pobreza multidimensional
Fuente: Ocampo et al (2021)

Índice de Riesgo de Calidad de Agua Potable- IRCA:

De acuerdo con la información disponible en SIVICAP, se compilan los indicadores de Riesgo de Calidad de Agua Potable IRCA para los municipios evaluados. El mapa de la Figura 4 ilustra los resultados del IRCA. Se tienen municipios con valores de riesgo alto en Caldas, Tolima y Risaralda.

Enfermedades intestinales

La distribución geográfica de las proporciones ajustadas las proporciones de mortalidad para el período 2010-2016 se ilustran en la Figura 5. La mortalidad se concentró en mayores de 60 años (86%). Los municipios con mayores proporciones de mortalidad, superiores al percentil 80, para el periodo analizado fueron: Aguadas, Chinchiná, La Dorada, Manizales y Riosucio, en Caldas; Algeciras, Campoalegre, Garzón, La Plata, Neiva, Pitalito, en Huila; Armenia en Quindío; Dosquebradas, Pereira, Pueblo Rico, Santa Rosa de Cabal, en Risaralda; Armero, Chaparral, Espinal, Guamo, Honda, Ibagué, Lérida, Líbano, Mariquita, Natagaima, Ortega, Purificación, en Tolima.

De acuerdo con el análisis de resultados expuesto en Ocampo et al. (2021), el análisis de correlación de las variables permite identificar relaciones entre medias y considerables con indicadores de fuerza motriz que confirman una mayor carga en ciudades y aglomeraciones. Además, con las variables climáticas se encontraron correlaciones inversas con la altitud en municipios intermedios; directas con la temperatura en ciudades y municipios intermedios; y directas con la precipitación en municipios clasificados como rural disperso. Por otra parte, se detectaron relaciones directas con indicadores de sensibilidad de cambio climático, tanto en ciudades como en municipios intermedios y rurales. Finalmente, con los indicadores de presión se hallaron relaciones inversas con la cobertura de acueducto, aseo y energía en zonas rurales de ciudades y aglomeraciones, y las

coberturas de aseo y gas en rural disperso, así como relaciones directas con la generación de residuos sólidos en municipios intermedios.

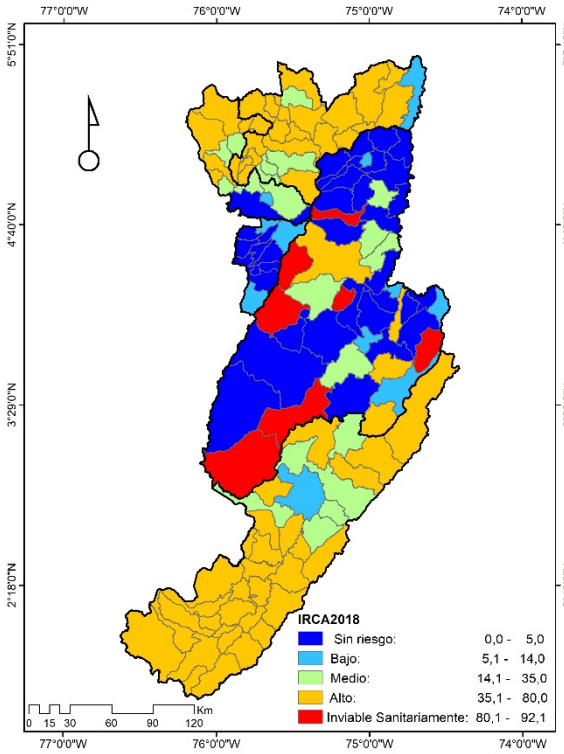

Figura 4. Índices de Riesgo de Agua Potable Fuente: Fuente: Ocampo et al (2021)

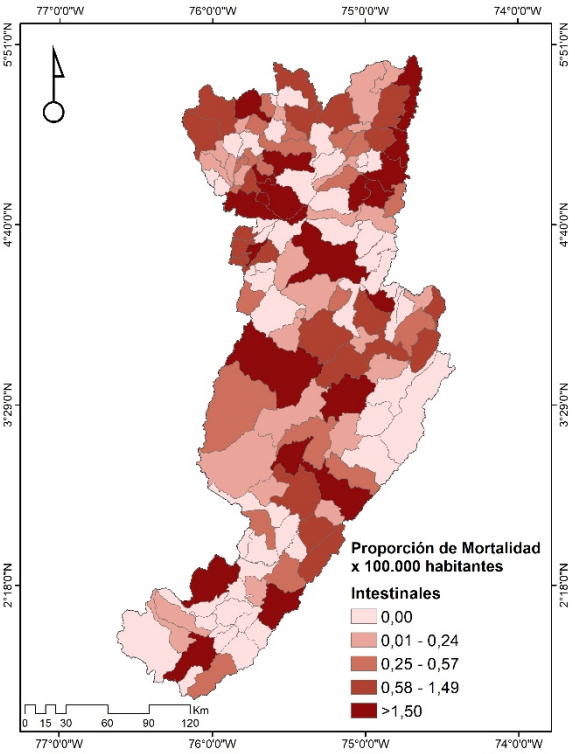

Figura 5. Proporción ajustada de mortalidad por enfermedades intestinales 2010- 2016

4. Conclusiones

El Modelo de Fuerzas Motrices es una metodología que ayuda a comprender las relaciones complejas entre el ambiente y la salud. Cuando se emplean herramientas de ingeniería como son los sistemas de información geográfica, es posible realizar análisis integrales que facilitan una mejor problematización, para identificar los determinantes ambientales, así como las posibilidades de acción, lo cual supera la noción clásica exposición-enfermedad.

Las herramientas de los SIG y estadísticas permiten una evaluación integrada de diversos indicadores del medio ambiente o de la salud, lo cual proporciona un marco para analizar las interrelaciones y, por tanto, ayuda a una mejor comprensión de los factores que inciden en la dimensión salud ambiental y en sus componentes de calidad de agua, como se presentó en este estudio.
Este análisis integral apoyado en las herramientas de ingeniería brinda la posibilidad de análisis detallados de problemas e intervenciones en salud, considerando el contexto territorial, dadas las profundas brechas urbanas y rurales.

La categorización en términos de urbanización y ruralidad facilita el análisis de los indicadores en salud ambiental. Se encontró un mayor nivel de correlación con la categoría de urbanización y ruralidad que reveló, además, diferencias estadísticamente significativas con varios indicadores

de presión, estado, exposición, efecto y acción. La evidencia científica confirma que la pobreza y la mala salud están relacionadas. El análisis de estos indicadores también evidencia la brecha urbana/rural y una mayor concentración de pobreza en zonas rurales.

La calidad del agua es fundamental para el desarrollo, el bienestar, la promoción de la salud y la prevención de enfermedades. Un análisis del IRCA revela que los problemas se concentran en los acueductos rurales y en los procesos de desinfección que en algunos casos son intermitentes.
Retos para la salud ambiental son evidentes en la región central de Colombia, en los departamentos: Caldas, Huila, Quindío, Risaralda y Tolima, que componen el Eje Cafetero actual. Los resultados presentados en mapas brindan información para la planificación territorial y sectorial, y la gestión ambiental; al igual que ilustran los riesgos ambientales para la salud.

Referencias

- Blanco-Becerra LC, Pinzón-Flórez CE, Idrovo ÁJ (2015). Estudios ecológicos en salud ambiental: más allá de la epidemiología. Biomédica 2015;35(Supl.2):191-206. https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2819
- Briggs, D. (2003) Indicators: Making a difference: Indicators to Improve Children's Environmental Health, WHO, Geneva
- Cardona, D. et al. (2021). Carga de la enfermedad por variables ambientales y costos de la atención en salud. Universidad Autónoma de Manizales. En: https://editorial.autonoma.edu.co/index.php/libros/catalog/book/47
- Corvalán, C. F., Kjellström, T., & Smith, K. R. (1999). Health, environment and sustainable development: Identifying links and indicators to promote action. Epidemiology, 10(5), 656–660. https://doi.org/10.1097/00001648-199909000-00036
- DANE (2019). Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Disponible en: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018
- Departamento Nacional de Planeación (2008). Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos. CONPES 3530. Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
- Dixon J, Dixon JP. An integrative model for environmental health research. Advances in nursing science. 2002;24(3):43-57. https://doi.org/10.1097/00012272-200203000-00006
- DNP (2014). Misión para la transformación del campo. DNP. 47 p. Disponible en: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/DOCUMENTO%20MARCO-MISION.pdf
- Hodgson N.H., Campbell K.L.I., (1999), Pressure-StateResponse Framework and Environmental Indicators Module, In: Livestock and Environment Toolbox. Livestock, Environment and Development (LEAD) Initiative. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, Campbell K.L.I., Hodgson N.H., Gill M. (Eds), Rome.
- Knol AB, Briggs DJ, Lebret E. (2010). Assessment of complex environmental health problems: Framing the structures and structuring the frameworks. Science of the Total Environment. 408(14):2785-94. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.021
- Ministerio de Salud y Protección Social, & Organización Panamericana de la Salud. (2014). Modelo de Fuerzas Motrices en el marco de la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. Minsalud- OPS. Bogotá, Colombia.

- Ocampo et al. (2021). Aplicación del Modelo de Fuerzas Motrices para la caracterización de la salud ambiental. Manizales. Universidad Autónoma de Manizales. En: https://editorial.autonoma.edu.co/index.php/libros/catalog/book/45
- Ordoñez, G. (2000). Salud ambiental: Conceptos y actividades. Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health 7(3): 137-147. https://doi.org/10.1590/S1020-49892000000300001
- Organización Panamericana de la Salud (2014). Referentes conceptuales y abordajes sobre Determinantes Ambientales. Ministerio de Salud y Protección Social. Organización Panamericana de la Salud. Convenio de Cooperación Técnica No 310/13. 132 p. Recuperado de https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/referentes-conceptuales-abordajes-determinantes-ambientales.pdf
- Ortega Páez E, Ochoa Sangrador C. (2015). Estudios ecológicos en Epidemiología. Evid Pediatr. 2015; 11:69.
- Rengifo Cuéllar, Hugo. (2008). Conceptualización de la salud ambiental: teoría y práctica (parte 1). Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 25(4), 403-409. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000400010&lng=es&tlng=es.
- SIVICAP (2019). Vigilancia de la Calidad del Agua. Disponible en: https://www.ins.gov.co/sivicap/Paginas/sivicap.aspx
- SIVIGILA. Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública –SIVIGILA (2020). Disponible en: http://portalsivigila.ins.gov.co/sivigila/documentos/Docs_1.php
- Terridata (2022). Sistema de Estadísticas Territoriales. Terridata. Disponible en: https://terridata.dnp.gov.co/

Sobre los autores

- **Olga Lucía Ocampo López**. Investigadora Senior, Profesora Titular, Doctora en Ingeniería. Universidad Autónoma de Manizales. Grupo de Investigación en Desarrollo Regional Sostenible. Universidad Autónoma de Manizales. olocampo@autonoma.edu.co
- **Paula Tatiana González Pérez**. Líder del Grupo en Salud Pública, Maestría en Salud Pública. Especialista en Epidemiología. Universidad Autónoma de Manizales. tatiana.gonzalez@autonoma.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2023 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)